

УДК 621.391

С.В. Гаркуша

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛОТОВ И ФОРМИРОВАНИЯ ПАКЕТОВ ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИИ WiMAX

Предлагается математическая модель распределения слотов и формирования пакетов данных в нисходящем канале связи стандарта IEEE 802.16. Предложенная модель направлена на формирование одного пакета данных нисходящего канала для каждой пользовательской станции, что позволяет минимизировать количество служебных сообщений передаваемых по используемому частотному каналу связи. Проведен анализ зависимости количества слотов формирующих один пакет данных от требуемой скорости передачи пользовательской станции, а также вида системы модуляции и кодирования.

WiMAX, распределение слотов, пакет данных, математическая модель.

В технологии WiMAX одним из эффективных путей повышения производительности и улучшения основных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) для систем с использованием технологии WiMAX, является использование принципов структурной и функциональной самоорганизации. Высокий уровень самоорганизации может быть достигнут путем усовершенствования сетевых протоколов и механизмов, отвечающих за распределение доступных сетевых ресурсов [1, 2]. В рамках системы WiMAX, построенной на технологии OFDMA, существует возможность управления частотным и временным ресурсом. Исходя из технологических особенностей технологии WiMAX, задача распределения частотного и временного ресурса должна быть сформулирована как задача распределения слотов между пользовательскими станциями (ПС) сети и соответствующего объединения их в пакеты данных в зависимости от заявленной скорости передачи и параметров QoS.

Анализ известных решений [3-7] показал, что повышение производительности технологии WiMAX и обеспечение QoS может быть обеспечено путем как отдельного, так и согласованного решения задач распределения частотного и временного ресурса. Так варианты решений задачи распределения частотного ресурса приведены в работах [3, 4]. Подход, предложенный в [5], направлен на решение задачи распределения временного ресурса. Кроме того, в работах [6, 7] предложены подходы, направленные на совместное решение задачи распределения частотного и временного ресурсов, сформулированные как задачи распределения слотов и формирования пакетов данных нисходящего канала связи. Однако подходы, предложенные в работах [6, 7] носят эвристический характер.

На основе недостатков известных решений [3-7], сформулированы требования к перспективным решениям задачи распределения слотов и формирования пакетов данных в нисходящем канале технологии WiMAX: ориентация на эффективное использование частотного и временного ресурсов; учет требований по скорости передачи ПС и качеству обслуживания; минимизация количества служебных данных, передаваемых по каналу связи; ориентация на преимущественно динамический характер решения задачи распределения слотов и формирования пакетов данных; ориентация на максимизацию производительности сети в целом и на улучшение других показателей качества обслуживания; учет технологических особенностей сети (режима работы, ширины канала, количества подканалов, длительности кадра); учет территориальной удаленности станций (определяет выбор схемы модуляции и кодирования (Modulation and Coding Scheme, MCS) для передачи сигнала пользовательской станции).

На основании проведенного анализа, а также сформулированных требований, предлагается единая модель, в которой описывается совместная процедура распределения как частотного, так и временного ресурса. Предложенная модель представлена в виде решения задачи распределения слотов и формирования их в пакеты данных нисходящего канала связи технологии WiMAX с учетом показателей качества обслуживания (требуемой скорости передачи ПС) и территориальной удаленности пользовательских станций сети (MCS для передачи сигнала пользовательским станциям).

Предлагаемая математическая модель направлена на применение в беспроводных широкополосных сетях стандартов IEEE 802.16a и IEEE 802.16d, использующих схему OFDMA с фиксированным «окном» быстрого преобразования Фурье (БПФ) размером 2048 поднесущих и рабочей полосой канала 20 МГц.

В предлагаемой модели предполагаются известными следующие исходные данные: N – количество пользовательских станций в беспроводной сети; K – количество подканалов в частотном канале, определяемое используемым подрежимом DL FUSC или DL PUSC; L – количество символов в кадре; R_{trb}^n – требуемая скорость передачи данных для обслуживания n -й ПС (Мбит/с); S – количество символов, формирующих один слот; виды MCS, в зависимости от территориальной удаленности ПС; M – количество слотов на одном подканале нисходящего канала для передачи полезной информации; Q – количество слотов, предназначенных для передачи служебной информации.

В ходе решения задачи распределения слотов и формирования пакетов данных, для передачи полезной информации каждой ПС сети в нисходящем канале связи, в рамках предлагаемой модели необходимо

обеспечить расчет булевой управляющей переменной $(x_{k,m}^n)$, определяющей закрепление подканалов и распределение слотов за ПС, на которых будут передаваться данные в нисходящем канале:

$$x_{k,m}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } m\text{-й слот на } k\text{-м подканале выделен } n\text{-ой ПС;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

При расчете искоемых переменных $x_{k,m}^n$ необходимо выполнить ряд важных условий-ограничений:

1) Условие закрепления k -го подканала на протяжении передачи m -го слота не более чем за одной ПС

$$\sum_{n=1}^N x_{k,m}^n \leq 1 \quad (k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}); \quad (2)$$

2) Условие закрепления за n -й ПС количества слотов, обеспечивающего необходимую скорость передачи при используемом MCS

$$R_S^n \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K x_{k,m}^n \geq R_{mpб}^n \quad (n = \overline{1, N}), \quad (3)$$

где $R_S^n = \frac{SR_c^n k_b^n K_s}{(T_b + T_g)L + T_{RTG} + T_{TTG}}$ – пропускная способность слота, закрепленного за n -й ПС, которая зависит от используемой MCS и представляет собой количество переданных бит за время равное длительности слота; R_c^n – скорость кода, используемого при кодировании сигнала n -й ПС; k_b^n – битовая загрузка символа n -й ПС; $\Delta f \approx 11,16$ КГц – частотный разнос между поднесущими; $T_{TTG} = 105,7$ мкс – длительность интервала переключения с приема на передачу; $T_{RTG} = 60$ мкс – длительность интервала переключения с передачи на прием.

3) Условия формирования одного пакета для n -й ПС

$$x_{k,i}^n x_{k,z}^n (i - z + 1) - \sum_{u=z}^i x_{k,u}^n \leq 0, \quad (4)$$

при $(z = \overline{1, M - 1}; i = \overline{2, M}; n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; i > z);$

$$x_{j,m}^n x_{r,m}^n (j-r+1) - \sum_{s=r}^j x_{s,m}^n \leq 0, \quad (5)$$

при $(r = \overline{1, K-1}; j = \overline{2, K}; n = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}; j > r)$.

4) Условие формирования пакетов «прямоугольной формы»

$$x_{k,m}^n \sum_{d=1}^M x_{k,d}^n \sum_{b=1}^K x_{b,m}^n = x_{k,m}^n \sum_{g=1}^K \sum_{h=1}^M x_{g,h}^n \quad (n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}). \quad (6)$$

5) Условие резервирования необходимого количества слотов для передачи служебной информации

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_{k,m}^n = 0 \quad (m = \overline{1, m_{служ} - 1}, \lceil Q/K \rceil \geq 1); \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{k,m_{служ}}^n = 0 \quad (k = \overline{1, k_{служ}}, \lceil Q/K \rceil \geq 1); \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{k,1}^n = 0 \quad (k = \overline{1, k_{служ}}, \lceil Q/K \rceil < 1), \quad (9)$$

где $m_{служ} = \lceil Q/K \rceil$ – количество слотов, выделенных для передачи служебных сообщений, занимающих всю ширину частотного канала (располагаются вначале кадра после преамбулы); $k_{служ} = Q - K(m_{служ} - 1)$ – количество слотов выделенных для передачи служебной информации, занимающих лишь часть ширины частотного канала.

Расчет искоемых переменных (1) в соответствии с условиями-ограничениями (2)-(9) целесообразно осуществлять в ходе решения оптимизационной задачи, обеспечивая минимум или максимум предварительно выбранного критерия качества решения задачи распределения слотов и формирования пакетов передачи данных ПС беспроводной сети стандартов IEEE 802.16a и IEEE 802.16d.

Задача распределения слотов и формирования пакетов данных ПС может быть решена с использованием критерия оптимальности, направленного на экономию частотного и временного ресурса, а также уменьшения времени нахождения ПС в активном состоянии, что позволит снизить энергопотребление ПС. Таким образом, критерий оптимальности примет вид:

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M x_{k,m}^n, \quad (10)$$

при учете условий-ограничений (2)-(9).

Сформулированная задача с математической точки зрения является задачей смешанного целочисленного нелинейного программирования – MINLP (Mixed Integer NonLinear Programming). В модели искомые переменные $x_{k,m}^n$ (1) являются булевыми. Переменная, используемая в критерии оптимальности (10), является целочисленной, ограничения на искомые переменные (2), (3), (7)-(9) носят линейный, а ограничения (4)-(6) нелинейный характер.

В качестве примера получены решения сформулированной в работе оптимизационной задачи, для чего была использована система MatLab R2012b, в рамках которой задействована программа minlpAssign пакета оптимизации TOMLAB. В результате анализа полученных решений установлено, что задача совместного распределения частотного и временного ресурса имеет более высокую эффективность использования пропускной способности нисходящего канала технологии WiMAX, по сравнению с задачей распределения частотного и задачей распределения временного ресурса. Кроме того формирование одного пакета данных для каждой ПС, позволяет минимизировать количество служебной информации, передаваемой в нисходящем канале связи.

Список используемых источников

1. Gogolieva M., Garkusha S., Ahmed H. Abed A Mathematical Model of Channel Distribution in Multichannel Mesh Networks 802.11 // Proc. of 11-th International Conference THE EXPERIENCE OF DESIGNING AND APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN MICROELECTRONICS Polyana-Svalyava-(Zakarpatty), UKRAINE, 23 - 25 February 2011: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2011. – P. 71-73.
2. Lemeshko A., Garkusha S., Abed A.H. Two-index Mathematical Model of Channels Distribution in Multichannel Mesh Networks 802.11 // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the international Conference TCSET'2012. – Lviv-Slavske, Ukraine, 21-24 February 2012: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. – P. 279-280.
3. Гаркуша С.В. Разработка и анализ масштабируемой модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2012. – Вип. 4(33). – С. 68-74.
4. Mehrjoo M., Awad M.K., Shen X.S. Resource Allocation in OFDM-Based WiMAX // CRC Press, Wireless Networks and Mobile Communications: WiMAX network planning and optimization. – 2009. – P. 113-131.
5. Ohseki T., Morita M., Inoue T. Burst construction and packet mapping scheme for OFDMA downlinks in IEEE 802.16 systems // IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM). – 2007. – P. 4307-4311.
6. Lodi A., Martello S., Monaci M. Two-dimensional packing problems: A survey // European Journal Operational Research. – 2002. – Vol.141. – P. 242-252.
7. Ben-Shimol Y., Kitroser I., Dinitz Y. Two-dimensional mapping for wireless OFDMA systems // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2006. – Vol. 52, No. 3. – P. 388-396.